

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Hornicko-geologická fakulta

Institut environmentálního inženýrství

POSOUZENÍ VYUŽITÍ FLOTACE V ČISTÍRENSKÉM
PROCESU

ASSESSMENT OF THE SEWAGE FLOTATION
PROCESS USE

bakalářská práce

Autor:

Gabriela Zapletalová

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Hana Škrobánková, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student:

Gabriela Zapletalová

Studijní program:

B2102 Nerostné suroviny

Studijní obor:

2102R006 Technologie a hospodaření s vodou

Téma:

Posouzení využití flotace v čistírenském procesu
Assessment of the sewage flotation process use

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce
2. Současné možnosti využití flotace
3. Popis ČOV v Hranicích na Moravě
4. Vyhodnocení sledovaných parametrů
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

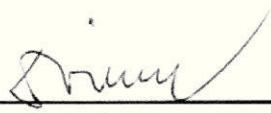
Projektová dokumentace ČOV Hranice na Mor. (interní materiál)
Medek, J., Hydraulické pochody. VUT Brno 2004. ISBN 80-214-2640-3.
Wang, L. K., Shammas N. K. Selke, W.A. and Aulenbach, D.B. 2010. Handbook of
Environmental Engineering, Volume 12: Flotation Technology. 1st ed. The Humana Press Inc.,
USA. ISBN 978-1-58829-494-4.
Pytl, V. a kol., Příručka provozovatele čistírny odpadních vod. 1. vydání, Praha, 2004. ISBN
80-239-2528-8

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Hana Škrobánková, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2013

Datum odevzdání: 30.04.2014


prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.
vedoucí institutu




prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.
děkan fakulty

Prohlášení

- Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- Byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovna VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB- TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu užítí mohu jen se souhlasem VŠB-TU, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 2014

.....

podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat své vedoucí bakalářské práce paní Ing. Haně Škrobánkové, Ph.D., za věnovaný čas a pomoc při zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Jaroslavu Boráňovi, Ph.D., za možnost podílet se na experimentálním projektu, také děkuji panu Petrovi Strnadelovi za poskytnutí podkladů ke zpracování této práce. V neposlední řadě chci poděkovat paní Ing. Heleně Chládkové za pomoc při zpracování praktické části.

ANOTACE

Bakalářská práce je zaměřena do oblasti čištění odpadních vod. Je zde řešena možnost využití flotace k odstraňování sraženiny fosforu vznikající při terciárním čištění odpadní vody. Úvodní část je teoretická a popisuje čištění odpadních vod, flotaci jako separační technologie a srážení fosforu. Druhá část je praktická, která popisuje experimentální zařízení.

Klíčová slova:

Čistírna odpadních vod, Flotace, Flotační jednotka, Odpadní voda, Koagulant, Flokulant

SUMMARY

The thesis is focused on the area of wastewater treatment. There addressed the possibility of using flotation to remove the precipitate formed during the phosphorus tertiary wastewater treatment. The first part is theoretical and describes wastewater treatment, flotation separation technology as a precipitation of phosphorus. The second part is practical, which describes the experimental facility.

Key words:

Wastewater Treatment Plant, Flotation, Flotation unit, Wastewater, coagulant, flocculant

Seznam použitých zkratek:

BSK ₅	Biochemická spotřeba kyslíku
ČOV	Čistírna odpadních vod
DAF	Dissolved air flotation - tlakovzdušná flotace
DN	Dosazovací nádrž
EO	Ekvivalentní obyvatel
FJ	Flotační jednotka
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku
Ncelk	Dusík celkový
NL	Nerozpuštěné látky
OV	Odpadní voda
Pcelk	Fosfor celkový
RL	Rozpuštěné látky
UN	Usazovací nádrž
VN	Vyhnívací nádrž

Obsah

1.	Úvod a cíl práce.....	1
1.1.	Počátky flotace:	1
2.	Současné možnosti využití flotace	2
2.1.	Co je to Flotace?.....	2
2.2.	K čemu je flotace vhodná:.....	2
2.3.	Princip flotace	3
2.4.	Druhy flotace:.....	3
2.4.1.	Pěnová flotace	4
2.4.2.	Filmová flotace.....	4
2.4.3.	Bezpěnová flotace	4
2.4.4.	Pěnová separace	4
2.4.5.	Flotace na nosiči, koagulace, flokulace.....	4
2.5.	Základní dělení:.....	5
2.5.1.	Mechanická flotace:	5
2.5.2.	Tlaková flotace rozpuštěným vzduchem:.....	5
2.5.3.	Vakuová flotace:	5
2.5.4.	Elektroflotace:	5
2.5.5.	Biologická a chemická flotace:	6
2.6.	Využití flotace	6
2.7.	Teoretické řešení flotační jednotky	6
2.8.	Popis flotační jednotky v Hranicích na Moravě.....	7
2.9.	Technické parametry	8
2.9.1.	Ovlivňující parametry flotační jednotky	11
2.9.2.	Hlavní proměnné v systému kontroly účinnosti flotační jednotky:	11
3.	Popis ČOV v Hranicích na Moravě.....	12

3.1.	Čištění odpadních vod	13
3.1.1.	Znečištění odpadních vod	13
3.1.2	Městské odpadní vody se rozdělují podle směrnice 91/271/EHS na:	14
3.1.3	Znečištění odpadních vod rozdělujeme na [11]:	14
3.2	Druhy čištění:	16
3.2.1	Mechanické čištění	16
3.2.2	Biologické čištění	16
3.2.3	Ochranná část čistírny a hrubé předčištění	17
3.2.4	Mechanický stupeň čištění (primární sedimentace)	18
3.2.5.	Biologický stupeň čištění	19
3.2.6	Kalové hospodářství	19
3.2.7	Chemický stupeň čištění	20
3.3	Biologické odstranění fosforu	20
3.4	Chemické odstranění fosforu	20
4.	Vyhodnocení sledovaných parametrů	22
4.1.	Sledování účinnosti sycení 1 tryska, více trysek	22
4.2.	Metodika experimentální části:	23
4.3.1.	Měření jsem vyhodnocení podle:	24
4.4.	Vyhodnocení z tabulek:	28
5.	Závěr	29
6.	Seznam použité literatury	30
7.	Seznam obrázků	32
8.	Seznam tabulek	32

1. Úvod a cíl práce

Bakalářská práce se svým obsahem řadí mezi práce o čistírnách odpadních vod. V rámci projektu bylo ověřováno řešení pro odstranění fosforu. Tato technologie byla od roku 2011 ověřována experimentálně na čistírně odpadních vod v Hranicích na Moravě. Pro ověření funkce zařízení bylo provedeno experimentální měření na poloprovozní jednotce.

Budu se řídit § 38 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách, které definují odpadní vody jako: „vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu), jakož i jiné vody z těchto staveb, zařízení nebo dopravních prostředků odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod.

Dále se řídím Směrnicí Rady evropských společenství 91/271/EHS o čištění městských odpadních vod, která se hlavně týká odvádění, čištění a vypouštění městských odpadních vod a čištění a vypouštění odpadních vod z určitých průmyslových odvětví. Cílem směrnice je ochrana životního prostředí před nepříznivými účinky vypouštění odpadních vod.

Předpokládaná aplikace technologie v letech 2014 – 2015.

Cílem předložené bakalářské práce bylo ověřit, jaké režimy jsou optimální pro flotaci přebytečného aktivovaného kalu s předřazenou koagulací, pro dosažení nejvyšší hodnoty sušiny za nízké spotřeby elektrické energie.

1.1. Počátky flotace:

Flotace jako separační proces začala být používána na přelomu 19. a 20. století při zpracování vytěžených nerostných surovin. V roce 1905 byla v USA patentována tlakovzdušná flotace pro úpravu vody obsahující minerální rudy, do které byla vháněna recirkulovaná voda sycená pod tlakem. Pro úpravu vody byla poprvé použita tlakovzdušná flotace v roce 1960 v Jižní Africe a ve Skandinávii [5].

2. Současné možnosti využití flotace

2.1. Co je to Flotace?

Je to separační proces, který slouží pro oddělení dispergovaných částic z kapaliny, kde se tyto částice spojují s mikrobublinkami plynu za vzniku flotačních komplexů lehčích než je voda a vznášejí se k vodní hladině, kde se vytváří třífázová pěna, která se stírá. Je opakem sedimentace. Používá se také k oddělení tuhé fáze od kapalné fáze. Flotace je metoda založená na principu chemicko-fyzikálních vlastností jednotlivých povrchů materiálů určených k rozdušování. Jedná se hlavně o rozdílné povrchové napětí povrchů jednotlivých materiálů. Je využito rozdílné smáčivosti, kdy jsou materiály méně a více smáčivé. Např. částice s hydrofobním povrchem jsou špatně smáčivé vodou a naopak částice s hydrofilním povrchem jsou dobře smáčivé vodou. Proces flotace je založen na pochodech fázového rozhraní kapalina - vzduch, kapalina - kapalina, kapalina - pevná látka a pevná látka - vzduch. Existuje i olejová flotace kdy je jako flotační činidlo použitý pouze olej [1,2,3].

2.2. K čemu je flotace vhodná:

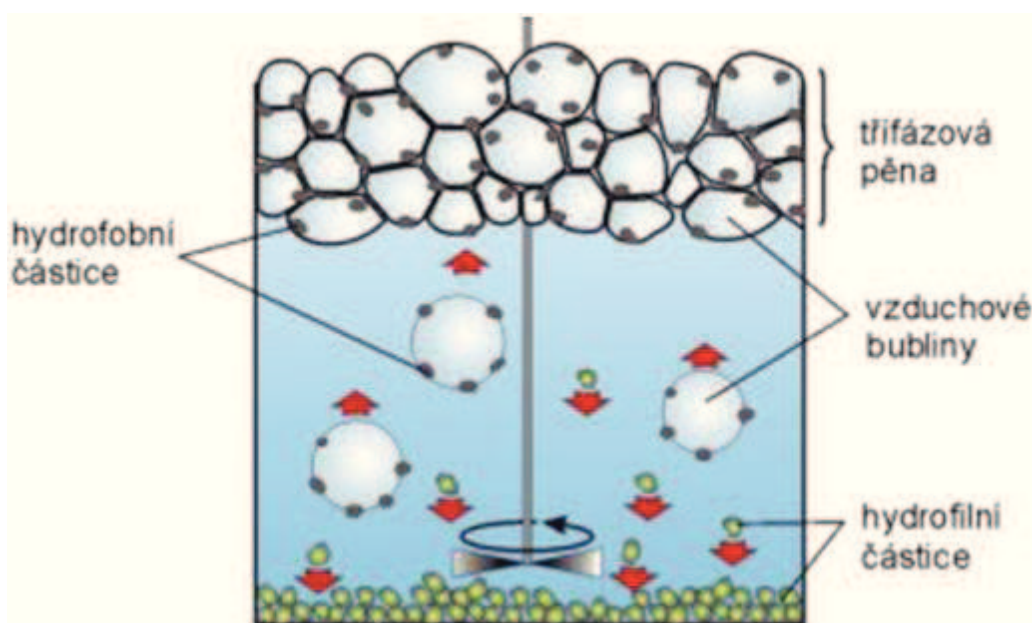
Flotace je v současné době provozně náročný proces. Energeticky náročné je sycení kapaliny plynem, pro zlepšení účinnosti sycení je nutné přidávat různé typy flokulantů. Proto se flotace využívá tam, kde klasická sedimentace není dostatečně vyhovující. Jedná se např. o případy, kdy částice pevné fáze vykazují špatné sedimentační vlastnosti nebo je v dané lokalitě značné prostorové omezení. Flotace u čištění odpadních vod je výhodná např. pro odstraňování tuků a olejů z odpadních vod nebo pro zahušťování aktivovaného kalu [1,2,3].

Při flotaci lze odstranit částice těžší než kapalina pomocí provzdušňování. Při čištění odpadních vod se používá provzdušňování k urychlení flotačního procesu v lapácích tuku a k separaci aktivovaného kalu, pokud má být využit k jiným účelům [1,2,3].

2.3. Princip flotace

Při flotaci odpadních vod, při vzestupném pohybu komplexů částice -bublina je možné určit následující kroky:

- tvorba vzduchových bublin, vyvíjení, zavedení do systému
- kontakt mezi pevnými částicemi nebo agregáty a vzduchovými bublinami (nebo zapojení bublin do agregátů při jejich vzniku)
- vzestup komplexů bublina - pevná částice, jež je zvýšen nebo brzděn při kontinuálním průtoku reaktorem [4].



Obrázek 1 - Hydrofóbní a hydrofilní částic

2.4. Druhy flotace:

Flotační metody se dělí nejčastěji podle způsobu vnosu plynné fáze (nejčastěji vzduchu) do flotační nádrže [5].

2.4.1. Pěnová flotace

Principem je vytvoření stabilní pěny, ve které se akumulují separované látky. Pěnovou flotací můžeme odstraňovat nejen povrchově aktivní látky, ale i látky suspendované, emulgované a částečně rozpuštěné látky. Pěnová flotace je výhodná pro čištění odpadních vod s koncentrací detergentů; v rozsahu $10 - 50 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Účinnost odstranění je více než 90% [1].

Pěnová flotace je založená na účinném promíchávání kalu s vodou za současného provzdušňování, při kterém dochází k oddělování hydrofilních a hydrofobních částic směsi [5].

2.4.2. Filmová flotace

Je to flotace bez přísadků flotačního činidla. Používá se, když jsou flotační částice přirozeně hydrofobní. Jemné částice se sypou na povrch tekoucí vody, kde dochází k rozdušování [5].

2.4.3. Bezpěnová flotace

Tato technologie je založená na podobném způsobu jako kapalinová extrakce, nepoužívá se při ní vzduchování a ionty přecházející do organického rozpouštědla jsou nahrazeny pevnými částicemi [5].

2.4.4. Pěnová separace

Tato technologie na rozdíl od jiných metod pracuje s částicemi větších velikostí, což umožňuje snadnější zpracování koncentráту z hlediska spotřeby energie, zahušťování, odvodňování, sušení apod. [5].

2.4.5. Flotace na nosiči, koagulace, flokulace

Tyto technologie pracují s částicemi velmi malých rozměrů. Při koagulaci nebo flokulaci se tyto částice shlukují pomocí přísadky soli hliníku nebo železa do vody a

následně sedimentují. Při flotaci na nosiči dochází ke shlukování částic přidáním hrubších zrn [5].

2.5. Základní dělení:

2.5.1. Mechanická flotace:

Vzduch je vháněn do flotační nádrže pomocí aeračních systémů typu děrovaného roštu. Výrazným problémem tohoto principu je nemožnost získat bubliny malých rozměrů [5].

2.5.2. Tlaková flotace rozpuštěným vzduchem:

Vzduch je v kapalině rozpouštěn za zvýšeného tlaku a při následném poklesu tlaku na atmosférický je vyloučen ve formě velmi jemných bublinek. Tato metoda je hojně využívána, často se setkáme se zkratkou DAF (dissolved air flotation). DAF je tlaková flotace využitá vzduchem. Vzduch se rozpouští v kapalině nebo ve vodě za zvýšeného tlaku a následně dochází ke vzniku bublin poklesem na atmosférický tlak [5].

2.5.3. Vakuová flotace:

Principiálně jde o obdobu tlakové flotace, ale v tomto případě je kapalina sycena vzduchem za atmosférického tlaku, který je následně snížen. Při podtlaku se z kapaliny uvolní jemné vzduchové bubliny [5].

2.5.4. Elektroflotace:

Bubliny plynu (nejčastěji kyslíku) se uvolňují na vhodné elektrodě. Jako výhoda této metody se uvádí okysličení směsi pro následující aerobní procesy [5].

2.5.5. Biologická a chemická flotace:

Bublinky plynu jsou vytvářeny činností mikroorganismů nebo chemickou reakcí [5].

2.6. Využití flotace

V současné době se flotace používá v různých oborech. Vedle úpravy nerostných surovin jde např. o odstraňování olejů z odpadních vod v rafinériích, ocelárnách a na letištích, separaci vláken z papírenských odpadních vod s následným využitím apod. [6].

2.7. Teoretické řešení flotační jednotky

Vyčištěná odpadní voda bude přečerpávána ponorným čerpadlem do prvního stupně koagulace. Dosazovací nádrž je navržena jako rychlomísící kruhová nádrž o objemu 155 l a dobou zdržení 100 sekund. Nádrž je osazena míchadlem s elektromotorem o příkonu 90W řízeném frekvenčním měničem. Požadovaný přítok odpadní vody do nádrže je řízen ručním regulačním šoupátkem DN25 na přítoku do nádrže s větším průtokem oproti odtoku na flotaci, popřípadě sáním plnicího vřetenového čerpadla flotační jednotky. Nadbytek odpadní vody odtéká přepadem DN50 do kanalizace. Přítok a přepad je umístěn v samostatné komoře oddělené zpětnou klapkou od rychlomísící nádrže kde se dávkuje síran železitý, aby nedocházelo k jeho odtoku do přepadu. Z rychlomísící nádrže odtéká připravená směs potrubím DN50 do dalšího stupně koagulace, která je tvořena pomalomísící nádrží o objemu 1000 l a dobou zdržení 12 minut. Nádrž je osazena míchadlem se stejným elektromotorem jako v prvním stupni koagulace. Z pomalomísící nádrže je napojeno sání flotační jednotky hadicí DN50. Pro dávkování síranu železitého je navrženo dávkovací zařízení ProMinent s membránovým dávkovacím čerpadlem Beta 4b 0,7l/h @ 10bar s nastavitelnou výškou a frekvencí zdvihu. Dávkovací čerpadlo je osazeno na zásobní nádrži o objemu 60L. Výtlak čerpadla je zaústěn do prvního stupně koagulace [6].

2.8. Popis flotační jednotky v Hranicích na Moravě

Pro praktickou část práce jsem si vybrala flotační jednotku umístěnou v Hranicích na Moravě. Na této ČOV jsem absolvovala 14ti-denní praxi, kde jsem si vyzkoušela ovládání jednotky. Pro ČOV Hranice byla navržena experimentální poloprovozní flotační jednotka firmou KUNST-iFLOT. Flotační jednotka pracuje na principu systému DAF (dissolved air flotation) [7].

V prvním samostatně stojícím kontejneru je osazena flotační jednotka se sytícím okruhem, příslušenstvím a elektronickým rozvaděčem, který obsahuje řídicí systémem pro automatický provoz zařízení a dálkového přístupu pro sledování a řízení procesu. Kontejner je vybaven rolovacími vraty pro snadnější přístup a obsluhu [7].

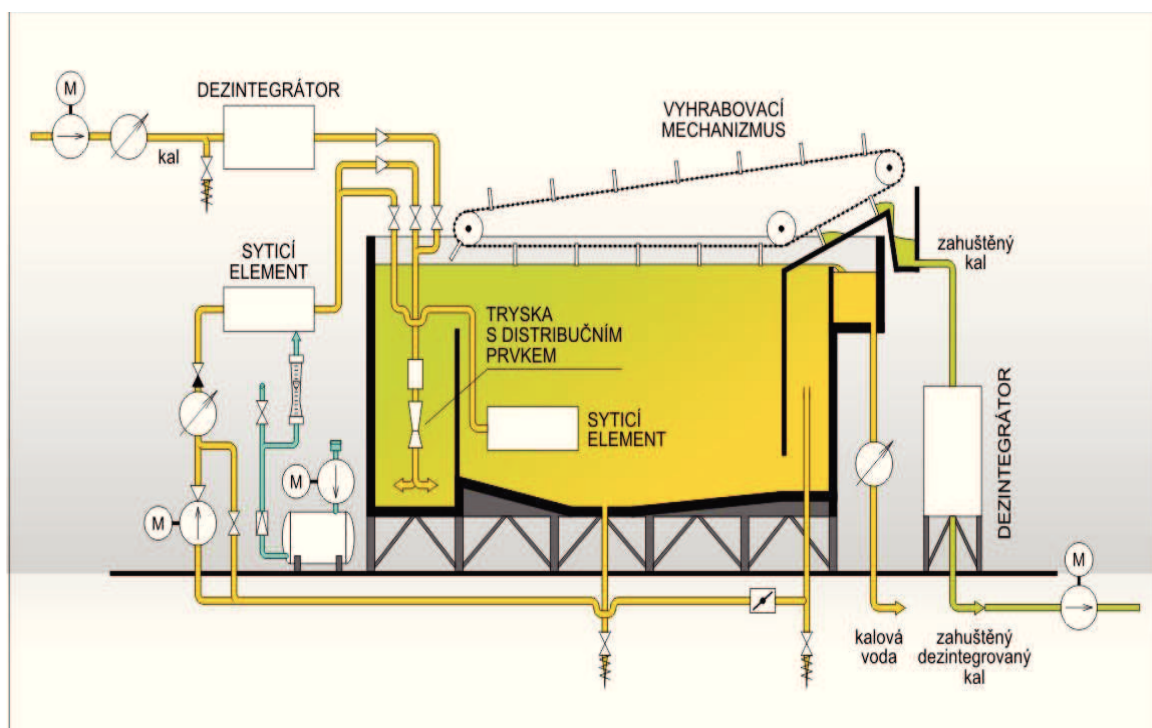
Proces flotace probíhá v nerezové nádrži s jednou boční stěnou provedenou z průhledného polykarbonátu, která umožňuje vizuální sledování probíhajícího procesu. Součástí nádrže je vnitřní vestavba, jímka na vyflotovaný kal a odtoková přepadová hrana. Pro stahování kalu z hladiny do kalové jímky slouží shrabovací zařízení vybavené frekvenčním měničem rychlosti, na němž jsou umístěny prohrabovací a shrabovací lopatky. Příkon technologického zařízení kontejneru flotační jednotky je do 6 kW. Celkový příkon kontejneru včetně vytápění a osvětlení je 8,2 kW [7].

Druhý technologický kontejner obsahuje dávkovací stanici koagulantu včetně 60 l zásobní nádrže, dvě nádrže koagulace (rychlé a pomalé mísení) s míchadly a elektrorozvaděč zařízení umístěného v tomto kontejneru. Kontejner je napájen prodlužovacím kabelem z kontejneru flotace. Příkon kontejneru dávkování je do 0,8 kW. Celkový příkon kontejneru včetně vytápění činí 3,0 kW. Mobilní poloprovozní flotační jednotka je v rámci projektu nasazena na ČOV Hranice, kde jsou testovány různé provozní režimy zahušťování přebytečného kalu a aktivovaného kalu bez a s dávkováním koagulátu a fakulantu [7].

Poloprovozní flotační jednotka je navržena jako obdélníková nádrž s hydraulickým výkonem do 5 m³/h, která je osazena čerpadlem, sytící nádrží, průtokoměry. Flotační jednotka slouží ke zkoušení dispergačních trysek a sytícího elementu. Získané výsledky na poloprovozní flotační jednotce budou sloužit k návrhu flotační jednotky pro sériovou

výrobu. Nyní v rámci projektu slouží k ověření různých režimů systému syčení kalové vody vzduchem. Hlavní nádrž flotační jednotky je vybavena vyměnitelným panelem na čelní straně a průhledy jsou na bočních stěnách nádrže, které umožňují vizualizaci proudění směsi kalové vody a vzduchu. Za nízkého transportu kalové vody jsou značně omezené vizualizace. Mezi bublinkami vzduchu a kalovými částicemi dochází k tvorbě stabilních agregátů, jejich složení ovlivňuje vztlakové a odporové síly [7].

Uvedené rozsahy jednotlivých parametrů nepředstavují optimální provozní hodnoty, slouží především pro návrh jednotlivých strojů a zařízení tak, aby při zkušebním provozu bylo možno v maximální míře prověřit jednotlivé provozní režimy [7].



Obrázek 2 Schéma navrhované flotační jednotky (KUNST Hranice)

2.9. Technické parametry

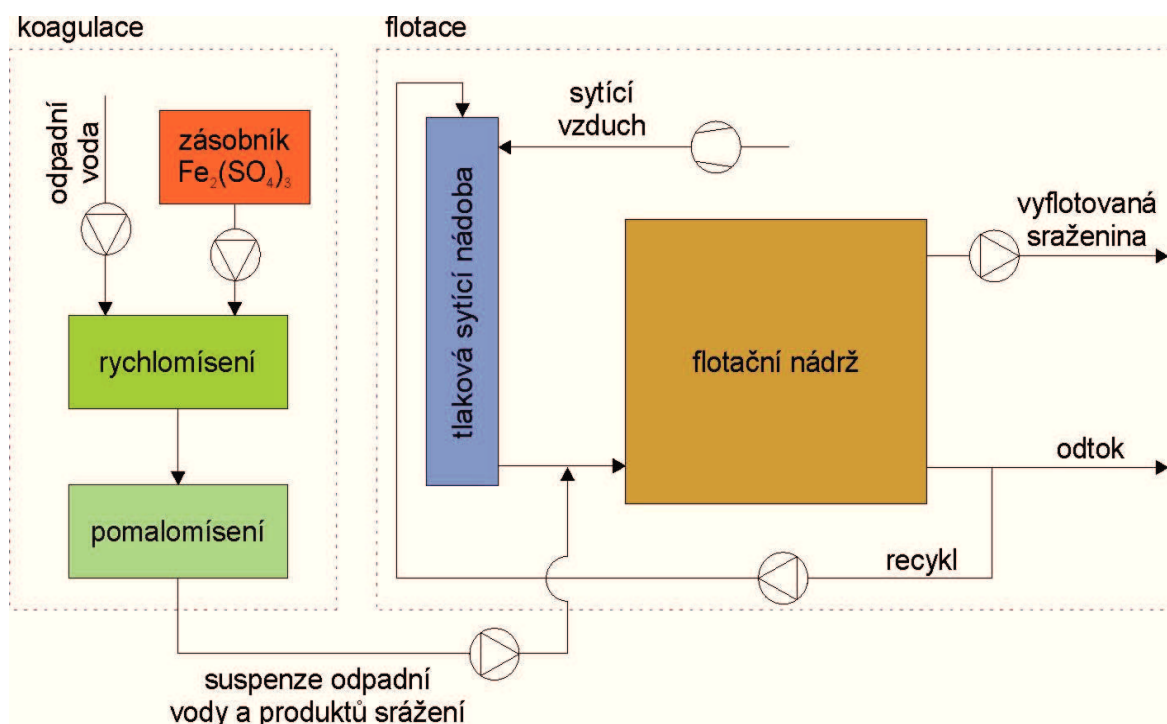
systém flotace: DAF (tlakovzdušná flotace)

- hydraulický výkon: 0,5 - 4 m³/h

- látkové zatížení: 2 - 7 kg/m².h

- rozměry kontejneru (obsahuje flotační jednotku vč. periférií): 6058x2990x2820 mm
- příslušenství: shrabovací zařízení (max. rychlost 5 cm/s), tlaková sytící nádoba (průměr 200 mm, výška 2100 mm), 3 ks vřetenových čerpadel (čerpadlo přebytečného kalu
- průtok 0,3 - 5 m³/h, čerpadlo kalové vody
- průtok 0,3 - 5 m³/h, čerpadlo zahuštěného kalu
- průtok 0,2 - 1,6 m³/h, kompresor (max. tlak 10 bar)
- magneticko-indukční průtokoměry, řízení a regulace [8].

Uvedené rozsahy jednotlivých parametrů nepředstavují optimální provozní hodnoty, slouží pro návrh jednotlivých strojů a zařízení tak, aby při zkušebním provozu bylo možno v maximální míře prověřit jednotlivé provozní režimy [7].



Obrázek 3 Schéma flotační jednotky s předřazenou koagulací (KUNST Hranice)



Obrázek 4 Kontejner flotační jednotky (KUNST Hranice)



Obrázek 5 flotační jednotka při provozu (KUNST Hranice)

2.9.1. Ovlivňující parametry flotační jednotky

2.9.2. Hlavní proměnné v systému kontroly účinnosti flotační jednotky:

- pH
- teplota
- doba zdržení
- recyklační poměr
- přidané chemikálie
- povrchové vlastnosti suspendovaných nerozpuštěných částic
- vstupní plyn a objem nerozpuštěného plynu
- hydraulický návrh flotační komory
- velikost bublin a stupně rozptýlení
- koncentrace a typ rozpuštěných látek
- koncentrace a typ nerozpuštěných částic a olejových kapiček [4].

3. Popis ČOV v Hranicích na Moravě

Čistírna odpadních vod v Hranicích byla uvedena do provozu v roce 1967. V průběhu dalších let prošla čistírna několika úpravami. Technologické vybavení již neodpovídalo dnešním požadavkům na kvalitu vypouštěných odpadních vod. V roce 2000 byla zahájena celková rekonstrukce čistírny a byla ukončena v roce 2002. Nyní se jedná o čistírnu s oběhovou aktivací s jednobublinným provzdušňováním, anaerobním reaktorem, dešťovou a povodňovou čerpací stanicí, plynovým a kalovým hospodářstvím. Na odtoku je terciární čištění – bubnové filtry. Na ČOV Hranice jsou přivedeny vody nejen z města Hranic ale i z částí obcí Drahotuše a Teplice nad Bečvou [9].

ČOV Hranice je majetkem akciové společnosti VaK Přerov. Je navržena na 30 000 EO. Recipientem pro vyústění vyčištěných odpadních vod je řeka Bečva. Správcem toku je Povodí Moravy [9].

UKAZATEL	jednotka	r. 2013*	Emisní standard NV 61/2003 Sb.	Požad. EHS (91/271/EHS)	Povolení vodoprávního úřadu
množství o.v.	m ³ /rok	2 436 508	-	-	3 500 000
BSK ₅	mg/l	2,2	20	25	20
CHSK	mg/l	15,7	90	125	90
NL	mg/l	0	25	35	25
Ncelk	mg/l	8,5	15*	15*	15*
Pcelk	mg/l	0,9	2*	2*	2*

Tabulka 1 Výsledky čištění odpadních vod ČOV Hranice [9]

*-roční průměr

BSK₅ - biochemická spotřeba kyslíku. Udává množství kyslíku, které je třeba k úplné oxidaci biologicky odbouratelných látek obsažených ve zkoumané vodě

CHSK - chemická spotřeba kyslíku. Je míra celkového množství kyslíku nutného pro oxidaci všech organických materiálů na kysličník uhličitý, vodu a anorganické látky se schopností oxidace.

NL - nerozpuštěné látky. Jsou pevné látky, ale patří zde i látky kapalné (emulze, povlaky na hladině).

N_{celk} - dusík celkový. Je součet forem anorganického a organického vázaného dusíku. Pro stanovení dusíku se používá metoda oxidační mineralizace, spalování vzorku a tzv. kjeldalhizace (nedochází k rozkladu některých organických látek a proto se nedoporučuje).

P_{celk} - fosfor celkový. Je součet forem rozpuštěných a nerozpuštěných forem fosforu. Z chemického hlediska se dělí na anorganický a organický vázaný fosfor. Stanovení celkového fosforu má především význam u odpadních vod.

3.1. Čistění odpadních vod

3.1.1. Znečištění odpadních vod

Odpadní vody jsou definovány § 38 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách, jako: „vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu), jakož i jiné vody z těchto staveb, zařízení nebo dopravních prostředků odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. Odpadní vody jsou také průsakové vody z odkališť, s výjimkou vod, které jsou zpětně využívány pro vlastní potřebu organizace, a vod, které odtékají do vod důlních, a dále jsou odpadními vodami průsakové vody ze skládek odpadu“ [10].

Jiná definice uvádí, že odpadní voda je voda, která se používá mimo vodní zdroj, jejichž vlastnosti byly změněny lidskou činností a voda z atmosférických srážek. Zákon stanoví, že ten, kdo vypouští odpadní vody, je povinen zajišťovat její zneškodnění [11].

Čistírenský kal je nevyhnutelným odpadem při čištění odpadních vod. Odpadní voda přitékající na čistírnu odpadních vod je během procesu čištěna. Na odtoku z ČOV je obsah znečišťujících látek snížen. Koncentrace sušiny vstupního kalu se pohybuje v rozsahu 2 - 10 kg/m³ Reálné hodnoty na ČOV Hranice se pohybují u aktivovaného kalu okolo 4,0 kg/m³ a u vratného kalu okolo 8,5 kg/m³ [12].

Směrnice Rady evropských společenství 91/271/EHS ze dne 21. května 1991 o čištění městských odpadních vod se týká především odvádění, čištění a vypouštění městských odpadních vod a čištění a vypouštění odpadních vod z určitých průmyslových odvětví. Cílem směrnice je ochrana životního prostředí před nepříznivými účinky vypouštění odpadních vod [13].

3.1.2 Městské odpadní vody se rozdělují podle směrnice 91/271/EHS na:

- Splaškové vody (splšky) – jsou to odpadní vody odvedené od obyvatelstva, z hygienických zařízení, z občanských služeb jako jsou restaurace, kuchyně, hotely, nemocnice apod.,
- Průmyslové odpadní vody- jsou to městské odpadní vody, kde část z nich pochází z dopravy, průmyslu a jiných služeb
- Odpadní vody srážkové
- Balastní vody

O jakosti vody vypouštěné v recipientu rozhoduje vodoprávní orgán, který sleduje zdroje znečištění a podle hodnot znečištění rozhoduje o míře čištění odpadních vod podle nároků dalších zájemců využívajících vody z recipientu [11].

Znečištění vody můžeme definovat jako změnu chemických, fyzikálních a biologických vlastností vody, která znemožňuje nebo omezuje její použití k danému účelu [15].

V praktické části se bude pracovat s odpadní vodou, kde bude potřeba dodatečně odstranit fosfor. Proto musíme definovat typy znečištění.

3.1.3 Znečištění odpadních vod rozdělujeme na [11]:

- rozpuštěné látky
- nerozpuštěné látky
- speciální znečištění

Rozpuštěné látky

Tvoří rozsáhlou skupinu nečistot, které nelze z vody odstranit usazením. Tyto látky mohou být biologicky rozložitelné (monosacharidy), nebo biologicky nerozložitelné (azobarviva). Také se vyskytují v odpadních vodách i rozpuštěné anorganické látky (anorganické soli). Podle složení v povrchových vodách způsobují různé závady. Ovlivňují pach vody, látky kyselé nebo zásadité povahy mění kyselost vody, čímž nepříznivě působí na biologický život ve vodě a zvyšují korozní působení na stavby. K závažnému ohrožení biologického života ve vodách patří rozpuštěné jedovaté látky; jejich úniky do vodního toku způsobují velmi vážné havárie [11].

Nerozpuštěné látky

Většinou se jedná o látky pevné, ale také se setkáváme i s látkami kapalnými (povlaky na hladině, emulze). Jeden z nejzávažnějších druhů znečištění odpadních vod tvoří nerozpuštěné látky; při vypouštění s odpadní vodou do odtoku se jich část usazuje a tvoří se kalové lavice. Větší nečistoty (zbytky potravin, ovoce, zeleniny apod.) způsobují estetické a hygienické závady, pomalu se rozkládají a znečišťují dlouhé úseky toků. Syntetické hmoty (fólie, vlákna, textilie apod.) se prakticky nerozkládají, ukládají se v kalech a zachycují se na vodních rostlinách, březích a také usnadňují zachytávání dalších nečistot a nepříznivě ovlivňují vodní živočichy. Velkou část nerozpuštěných látek je možno z odpadní vody odstranit poměrně jednoduše; jejich zachycení je proto první podmínkou při čištění odpadních vod [11].

Speciální znečištění

Tvoří je rozsáhlá skupina látek nacházejících se pouze v některých odpadních vodách (hlavně z průmyslu a některých služeb), popř. v městských odpadních vodách. Jejich koncentrace je nízká a prakticky neovlivňuje běžný proces čištění [11].

Čištění městských odpadních vod probíhá ve dvou stupních - nejdříve mechanické čištění a pak následuje čištění biologické [15].

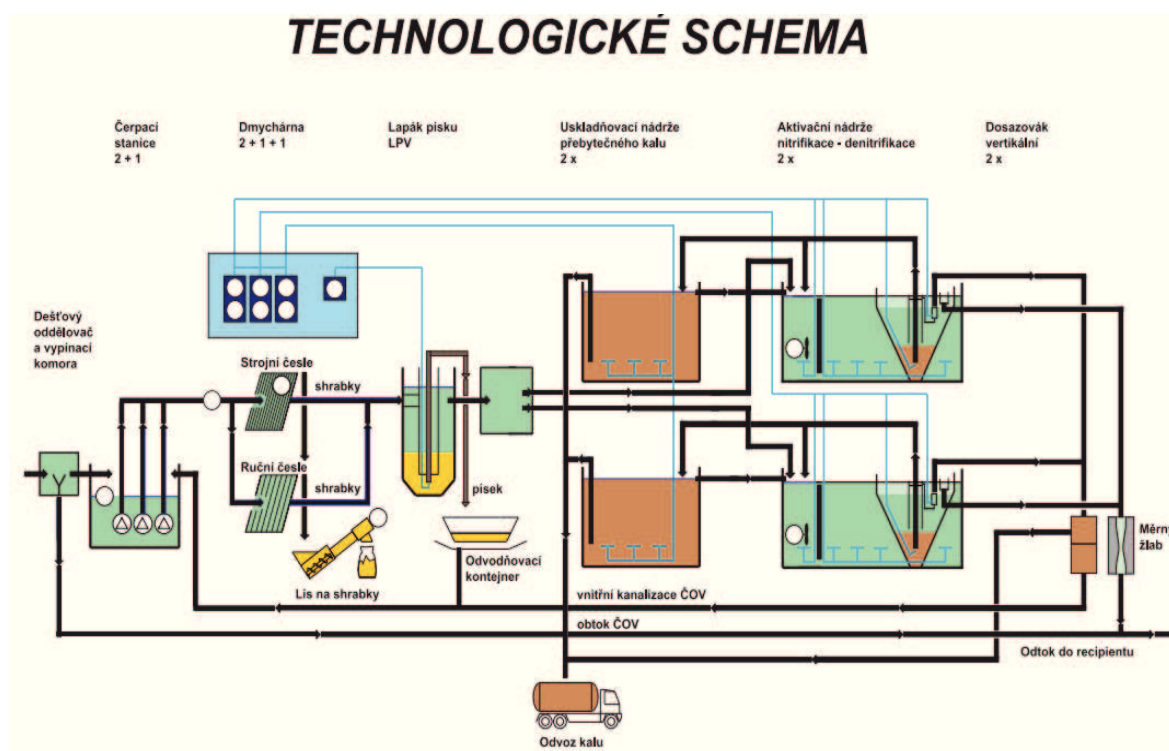
3.2 Druhy čištění:

3.2.1 Mechanické čištění

Nejprve se musí oddělit tuhé látky a dále kapalné látky, které jsou mísitelné s vodou. Slouží k zachycení hrubých nečistot. K tomu to účelu nám slouží česle, lapače písku, odlučovače ropných látek, tuků, usazování v usazovacích nádržích [15].

3.2.2 Biologické čištění

Slouží k odbourávání a rozkladu nerozpuštěných, koloidních a rozpuštěných organických látek. Důležitým faktorem biochemických přeměn probíhajících v přírodě při biologických způsobech čištění odpadních vod jsou mikroorganismy a to hlavně bakterie, houby a prvoci. Biologické čištění urychlují přirozený rozklad pochodů a procesů samočištění probíhající jak v půdním tak ve vodním prostředí [16], [17].



Obrázek 6 Technologické schéma ČOV Hranice (KUNST Hranice)

3.2.3 Ochranná část čistírny a hrubé předčištění

Odpadní voda přitéká přivaděčem do obtokové šachty, odkud je vedena přes lapač šterku a strojně stírané hrubé česle do jímky vstupní čerpací stanice (ČS). Je vybavena 4ks oběhových čerpadel, v sestavě 2+2, která zajišťují další tok odpadní vody do objektu česlovny. Vstupní ČS je vybavena jímkou svážených odpadních vod. Česlovna je samostatný uzavřený objekt, ve kterém jsou umístěny dvojce strojně jemné česle s propírkou a lisováním shrabků, separátor a pračka písku a kontejnery pro shromažďování shrabků a písku. Vzduch je z česlovny do venkovního prostředí vypouštěn po průchodu biofiltrem. Za česlovnou natéká odpadní voda do dvoukomorového lapáku písku s konstantní hladinou a s integrovaným sběrem tuku. Písek z lapáku se těží šnekovým vyhrnovacím zařízením, vrací se k propírce, tuky jsou shromažďovány v kontejnerech. [18].

Ochranná část čistírny se též nazývá jako hrubé předčištění. Slouží k odstranění velkých plovoucích nebo sunutých předmětů po vodě. V případě jednotné kanalizace se může využít jako ochrana před hydraulickým přetížením srážkovými vodami. Dále může sloužit k ochraně strojního zařízení čistírny před mechanickým poškozením [14], [16].

Lapáky šterku mají především význam v období přívalových dešťů, kdy se odstraňují velké a těžké předměty. Lapák šterku je jímka umístěná na vstupu do ČOV a je součástí hrubého předčištění. Následující částí hrubého předčištění jsou česle, které slouží k zachycování větších předmětů (větve, hadry, obaly, shluky trávy), tak i hrubých nerozpuštěných částic (zbytky ovoce, zeleniny, korkové zátky). Česle jsou tvořeny česlicemi, což jsou řady ocelových prutů kruhového, obdélníkového nebo lichoběžníkového profilu. Podle vzdálenosti mezi česlicemi rozeznáváme hrubé česle s šířkou mezi česlicemi > 60 mm a jemné česle < 40 mm. Shrabky, které se hromadí mezi česlicemi a odstraňují se strojním nebo ručním stíráním pomocí hrabel. Suspendované, anorganické látky, úlomky skla, jemná škvára se odstraňují v lapácích písku. Důležité je odstranit odděleně od ostatních nerozpuštěných látek organického původu. Lapáky písku pracují na průtočné rychlosti vody. Množství písku v odpadních vodách je různé. Lapáky písku rozlišujeme podle směru průtoku vody na lapáky písku s horizontální, vertikální a s příčnou cirkulací [14].

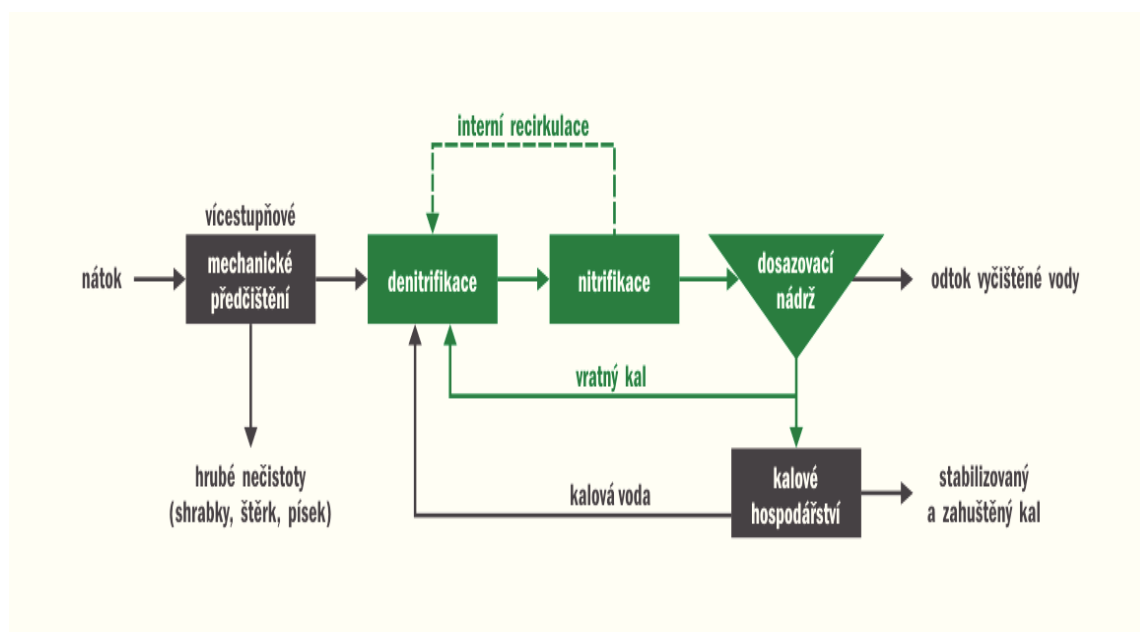
3.2.4 Mechanický stupeň čištění (primární sedimentace)

Za lapákem písku odpadní voda pokračuje do rozdělovacího objektu, odkud natéká do usazovací nádrže. Usazování patří mezi nejrozšířenější separační procesy. Odstraňování laditelných a plovoucích látek, tuků, pěn, snižuje zbytkové znečištění a také zlepšuje estetické vlastnosti odtoku z čistírny. Zbytky plovoucích látek, tuků a pěn, jsou odstraněny pomocí stíracího zařízení. Usazovací nádrže vyrovnávají průtok a odstraňují podíl BSK_5 .

Usazovací nádrže se dělí podle zařízení v technologické lince na:

- primární – separace suspendovaných částic z odpadní vody (mechanické čištění),
- sekundární – separace biologického kalu při biologickém čištění (dosazovací nádrže),

Dále usazovací nádrže rozdělujeme podle tvaru na pravoúhlé s horizontálním průtokem, s horizontálním průtokem, kruhové s vertikálním průtokem, šterbinové usazovací nádrže (s kalovým prostorem) [14], [16], [18].



Obrázek 7 Schéma ČOV Biologického čištění

3.2.5. Biologický stupeň čištění

Hlavním účelem čištění je odstranění organických látek, z odpadní vody působením mikroorganismů. Znečištěné látky, které jsou rozptýleny nebo rozpuštěny v odpadních vodách a nemohou být odstraněny sedimentací, jsou odstraňovány biologickou kulturou mikroorganismů. Znečištěné látky v odpadních vodách slouží jako zdroj energie a stavebních látek pro množení kultur mikroorganismů, které jsou následně oddělitelné od vyčištěných odpadních vod např. sedimentací [17,19].

Podle způsobu oddělení biologických kultur rozdělujeme technologie čištění odpadních vod na technologie s biologickou kulturou přisedlou na pevném povrchu (biologické filtry) a na technologie s biologickou kulturou ve vznosu (aktivační nádrže) [17,19].

3.2.6 Kalové hospodářství

Základem této části jsou vyhnívací nádrže (VN). Pro udržení potřebné teploty jsou instalovány plynové kotle se spalováním zemního plynu nebo kalového plynu. Kal je do VN dopravován čerpadly z jímky směsného kalu. Do jímky směsného kalu vstupuje primární kal z usazovací nádrže (UN) a přebytečný kal z aktivace, nebo koagulace.[18].

Primární kal vzniká v objektu primární sedimentace, tj. v usazovacích nádržích. Množství primárního kalu závisí na množství nerozpuštěných látek (NL) přitékajících na ČOV. Přiváděné znečištění je ve shodě s ČSN 756401 $60\text{mg BSK}_5.\text{ob}^{-1}.\text{d}^{-1}$ a $55\text{mg NL. ob}^{-1}.\text{d}^{-1}$. Přebytečný biologický kal je směs přiváděných NL v odpadní vodě do aktivace a vyprodukované biomasy. Na ČOV v Hranicích je instalováno chemické srážení fosforu. V ČR se používá pro srážení fosforu síran železitý, ale může se použít i kombinace síranu železitého a síranu hlinitého. Důležité je znalost charakteristických vlastností kalů, aby bylo možné jejich zpracování a zneškodnění [16].

VN jsou míchány mechanickými míchadly, ve výměníku tepla se kal ohřeje. Stabilizovaný kal vystupuje z VN a shromažďuje se v uskladňovací nádrži, odkud je

odebírán do linky odvodnění kalu. K odvodnění kalu se používají kalolisy. Náklady na zpracování kalu činí 40% celkových nákladů na ČOV [18].

3.2.7 Chemický stupeň čištění

Soli fosforu se dělí na:[19].

- ortofosfáty, tj. soli běžné kyseliny ortofosforečné H_3PO_4 ,
- polyfosfáty, tj. soli polyfosforečných kyselin,
- organicky vázaný fosfor.

Pro zvýšení efektu odbourávání fosforu je na ČOV instalováno zařízení pro přesné dávkování 40% síranu železitého $Fe_2(SO_4)_3$. Síran železitý se skladuje v dvouplášťové zásobní nádrži o objemu 15 m^3 . Pro odbourání fosforu se dá použít místo síranu železitého i síran hlinitý. ČOV Hranice se letos pokusí použít směs síranu hlinitého a síranu železitého. ČOV Hranice je řízena přes PC, kde můžeme na dálku zjistit poruchy [20].

3.3 Biologické odstranění fosforu

Sloučeniny fosforu ovlivňují eutrofizaci vod. Celkový fosfor je součtem rozpuštěného a nerozpuštěného fosforu. Rozpuštěný a nerozpuštěný fosfor se dělí na anorganický a organicky vázaný. Pro odstranění fosforu je třeba věnovat pozornost zpětnému uvolňování fosfátů mimo anaerobní zónu. Srážením fosfátů v kalové vodě se uspoří až 70 % srážedla. Urychlení rychlosti odstranění fosfátů v provozních podmínkách lze dosáhnout při teplotách od $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a při pH od 6,5 do 8,0 [16, 17].

3.4 Chemické odstranění fosforu

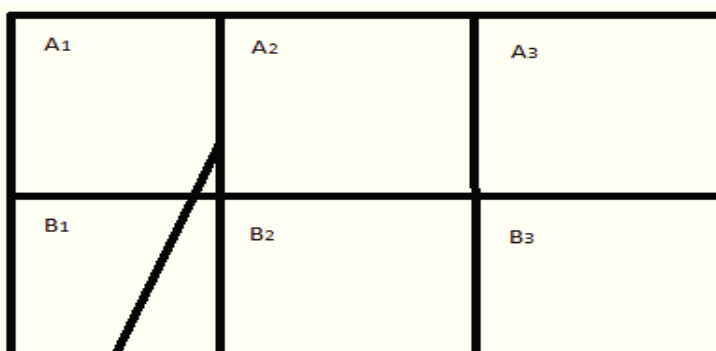
Odstranění fosforu probíhá na chemickém principu srážení rozpuštěného fosforu, jako jsou ortofosfáty ve formě nízkorozpustných kovových solí. Čistírny odpadních vod využívají pro odstraňování fosforu chemické srážení solemi železa, hliníku nebo různých

kombinací. Při chemickém srážení vznikají produkty, které nelze recyklovat v průmyslu, mají malou hodnotu jako hnojivo. Účinek srážení závisí na hodnotě pH. Se zvýšenou hodnotou pH se rozpustnost sloučenin snižuje a naopak se zvýšenou hodnotou pH se zvyšuje rozpustnost sloučenin fosforu vlivem tvorby rozpustných hydroxokomplexů. Pro FePO_4 dosahuje rozpustnost minima při $\text{pH} = 4 - 5$, pro AlPO_4 při $\text{pH} = 6$. Při odstraňování fosforečnanů srážením je nutno zvažovat i jejich adsorpci na vznikajících hydroxidech [17, 19, 21].

4. Vyhodnocení sledovaných parametrů

4.1. Sledování účinnosti sycení 1 tryska, více trysek

- Způsob měření jednotlivých veličin
- V_k (l/s), VR (l/s) - odečet na průtokoměrech
- TAK/V_kK ($^{\circ}C$), TR ($^{\circ}C$), S (Hz) - odečet na ovládacím panelu
- p (bar) - odečet na manometru před sycící tryskou
- V_k (m^3), VAK/VK (m^3), VR (m^3) - odečet na ovládacím panelu (celkové průtoky)
- VZK (m^3) – dopočet
- E (kWh) - odečet z elektrických hodin
- h (cm) - měřeno od horní hrany navařeného držáku přelivové hrany
- k (cm) - měření u výstupu (prostor A3 zcela vpravo)
- $sušAk/vk(\%)$, $sužk$ (%) - sušicí váhy, $105^{\circ}C$
- NLR (mg/l) – vakuová filtrace (filtr ze skelného vlákna-velikost pórů $0,1\mu m$), sušení při $105^{\circ}C$



Obrázek 8 Vizuální popis flotační jednotky (autor)

V rámci příprav této práce jsem podstoupila odbornou praxi na ČOV v Hranicích, kde je instalována mobilní poloprovozní flotační jednotka.

4.2. Metodika experimentální části:

Práce je zaměřená na využití flotace pro terciární stupeň čištění odpadních vod: Tato technologie by měla zabezpečit snížení hodnot koncentrace fosforu na odtoku z čistíren odpadních vod.

Jedná se o zahušťování přebytečného aktivovaného kalu s cílem získání co nejvyšší sušiny zahuštěného kalu a nízké spotřeby elektrické energie. Pro tuto práci byla na flotační jednotku nainstalována 12 mm tryska. Měření této trysky probíhalo jak s přidáním flokulantu, tak bez flokulantu.

Koncentrace sušiny vstupního kalu se pohybuje v rozsahu 2 - 10 kg/m³. Reálné hodnoty na ČOV Hranice se pohybují u aktivovaného kalu okolo 4,0 kg/m³ a u vratného kalu okolo 8,5 kg/m³.

Mým úkolem bylo:

- dopsat hodnoty pro režim, který běží
- odebrat vzorky kalu z nádrže těsně před chodem shrabováku z prostou A3 a nádrže kalu
- ukončit probíhající režim a nastavit shrabovák na vyšší rychlost, aby se zahuštěný kal co nejrychleji odstranil z nádrže
- odebrané vzorky kalu vysušit v sušárně
- vypočítat % sušiny a zapsat do provozního deníku
- nastavit další režim

Na začátku každého nového režimu se musí na elektronickém panelu nastavit průtok kalu (VK), tlak (p), rychlost shrabováku, chod a klid shrabováku. Po nastavení

všech potřebných parametrů se dá vše do automatického režimu a zapnou se stopky. Různé režimy mají i různou dobu měření.

Doba měření se pohybovala od 2 do 5 hodin stálého sledování. V průběhu režimu se měří výška kalu v nádrži, která se postupně zaznamenávala do provozního deníku. U některého režimu byl rychlý nárůst kalu v krátké době měření a bylo nuceno nevyhovující režim vypnout a vyčistit nádrž. Po ukončení režimu se z panelu opsaly potřebné hodnoty jako je sušina kalu (sušAK/VK), která se vyčetla z grafu na panelu, teplota kalu a recyklu, spotřebu elektřiny pro sycení a flotaci, zpracovaný kal (VAK/VK), odtok kalové vody (VKV), produkce zahuštěného kalu (VZK), spotřeba recyklu, floušťka kalu. Po dalším režimu se opět odebere vzorky kalu, vyčistí hladina nádrže, zjistí se sušina a nastaví se další režim. Na noc se nastavuje tzv. noční režim, který má menší průtok kalu než denní režim. Flotační jednotka je monitorována kamerovým systémem a v době nepřítomnosti může sledovat výšku hladiny kalu a následně přerušit a nastavit nový režim přes vzdálený počítač. Důležité je, aby flotační jednotka byla vždy nastavena na automatický režim.

4.3.1. Měření jsem vyhodnocení podle:

- sušiny zahuštěného kalu
- potřeby elektrické energie
- účinnosti sycení

12 mm tryska s flokulantem					
Typ kalu (AK/VK)	Vk	Vk	VK	vk	vk
m_F (g/kg NL)	1,5	1,5	3	3	3
Doba měření	5h	9,5h	4h	4,25h	14h
Výška přelivové hrany h (cm)	8	8	8	8	8
Průtok kalu V_K (l/s)	3	3	3	3	3
Průtok recyklu V_R (l/s)	0,77	0,77	0,77	0,77	0,8
Tlak před tryskou p_1 /za tryskou p_2 (bar)	5,2/5,0	5,2/5,0	4,2/4,0	5,2/5,0	5,2/5,0
Rychlost shrabováku S (Hz) / časování	10 Hz/ 5/15	10 Hz/ 5/15	10 Hz/ 5/15	10 Hz/ 5/15	10 Hz/ 5/15
Sušina kalu $su_{AK/VK}$ (%) / NL / (mg/l)	8,2-11,5		6,4-7,7	6,9-8,5	7,8-9,3
Sušina zahuštěného kalu su_{ZK} (%)	3,48 (3,60)	3,63	3,61(3,65)	3,94	3,52(3,54)
Tloušťka kalu k (cm) A1,A2,A3	15-24-26 12-24-26	14-25-25	20-23-30 14-23-30	15-26-33	24-37-40 26-39-40
Teplota kalu $T_{AK/VK}$ (°C)	19	19,2	19,5	19,8	19
Teplota recyklu T_R (°C)	19,7	19,2	19,6	19,9	19,3
Spotřeba elektřiny na flotaci E_f (kWh)	9,7 (1,94 kW)	18,25(1,92kW)	4,7(1,93kW)	8,53(3,01kW)	29,17(2,08kW)
Spotřeba elektřiny na sycení E_s (kWh)			3,19	4(0,94kW)	14,38(1,03kW)
Zpracovaný kal $V_{AK/VK}$ (m ³)	5,12	9,05	6,09	5,82	18,71
Odtok kalové vody V_{KV} (m ³)	6,56	6,32	4,47	4,08	13,21
Produkce zahuštěného kalu V_{ZK} (m ³)	1,56	2,73	1,62	1,74	5,5
Spotřeba recyklu V_R (m ³)	13,97	26,53	11,18	11,11	43,58
	A/S=0,018 f=0,728	A/S= 0,088	A/S=0,087 f=0,709	A/S=0,08 f=0,728	A/S=0,021 f=0,758

Tabulka 2 Provozní deník - 12 mm tryska s flokulantem

bez flokulantu				s flokulantem + nová tryska		
Typ kalu (AK/VK)	vk	vk	vk	vk	vk	vk
Poměr VK :VR						
Doba měření	28h	28,75h	19h	1,5h	2h	15,5h
Výška přelivové hrany h (cm)	8	8	8	8	8	8
Průtok kalu V_K (l/s)	3	3	4	0,75, zp=4	0,75,zp=3,8	0,59, zp=2,3
Průtok recyklu V_R (l/s)	1,2	1,2	4	0,87	0,87	0,86
Tlak před tryskou p_1 /za tryskou p_2 (bar)	5,5/5,0	5,5/5,0	5,5/5,0	5,3/5,0	5,3/5,0	5,3/5,0
Rychlost shrabováku S (Hz) / časování	10 Hz/5/10	10 Hz/5/15	10 Hz/5/10	10 Hz/ 2/10	10 Hz/ 5/10	10 Hz/ 5/5
Sušina kalu $su_{AK/VK}$ (%) / NL / (mg/l)				5,2	5,0-5,6	3-5,1
Sušina zahuštěného kalu su_{ZK} (%)	3,29	3,38	2,71	3,83	2,97	3,19
Tloušťka kalu k (cm) A1,A2,A3	3-13-15	15-20-18		20-24-24	37-51-43	17-28-30
Teplota kalu $T_{AK/VK}$ (°C)				18,5	18,5	18,1
Teplota recyklu T_R (°C)				19,1	19,1	18,8
Spotřeba elektřiny na flotaci E_f (kWh)	65,65(2,34)	66,68(2,33)	49,61(2,61)	3,14(6,09)	4,5(2,30)	33,85(2,18)
Spotřeba elektřiny na sycení E_s (kWh)	35,03(1,25)	35,78(1,24)	25,44(1,34)	1,53(1,02)	2,02(1,01)	15,48(1,00)
Zpracovaný kal $V_{AK/VK}$ (m ³)	48,25	47,8	53,93	3,24	5,6	33,23
Odtok kalové vody V_{KV} (m ³)	34,88	34,09	39,7	2,82	4,38	24,18
Produkce zahuštěného kalu V_{ZK} (m ³)	13,37	13,29	14,23	0,42	1,22	9,05
Spotřeba recyklu V_R (m ³)	121,27	124,28	57,1	4,72	6,28	48,28
Poznámky: Flokulant zřejmě zanáší sondu NL -> řešeno větším průtokem V_K + omezení NL	A/S=0,032 f=0,811	A/S=0,032 f=0,814	A/S=0,026 f=0,825	A/S=0,015 f=0,729 Opakování vyhovující ho režimu z 7.8. 2013	A/S=0,015 f=0,729 Po 1h velká vrstva kalu, dlouhodobě neudržitelný režim	A/S=0,022 f=0,728 Opakování režimu z dřívějšího měsíce

Tabulka 3 Provozní deník - bez flokulantu

12 mm tryska	10ti hodinové měření (zp=3kg/m²h, h=8,9 cm)				
Typ kalu (AK/VK)	Vk	Vk	Vk	Vk	Vk
Poměr $V_K:V_R$	1 : 2,25	1 : 2,22	1 : 2,22	1 : 2,22	1 : 2,20
Doba měření	2h	2h	2h	2h	2h
Výška přelivové hrany h (cm)	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9
Průtok kalu V_K (l/s)	0,45-0,50	0,47-0,50	0,47-0,49	0,47-0,49	0,47-0,50
Průtok recyklu V_R (l/s)	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
Tlak před tryskou p_1 /za tryskou p_2 (bar)	5,35/5,0	5,35/5,0	5,45/5,0	5,45/5,0	5,45/5,0
Rychlost shrabováku S (Hz) / časování	10 Hz/ 5/10	10 Hz/ 5/10	10 Hz/ 5/10	10 Hz/ 5/10	10 Hz/ 5/10
Sušina kalu $su_{AK/VK}$ (%) / NL / (mg/l)	5,9-6,5	5,9-6,2	6,0-6,3	6,0-6,3	5,9-6,2
Sušina zahuštěného kalu su_{ZK} (%)	2,74/2,94	2,68-3,28	2,80-3,21	2,74-2,99	2,86-3,02
Tloušťka kalu k (cm) A1,A2,A3	A1(21) A3(21-24)	21-24	A1(20-24) A3(21)	A1(21-26) A3(22)	A1(21-26) A3(23)
Teplota kalu $T_{AK/VK}$ (°C)	13,2	13,2	13,1	13,4	13,2
Teplota recyklu T_R (°C)	114,2	14,1	14,2	14,2	14,2
Spotřeba elektřiny na flotaci E_f (kWh)	4,67(2,34)	4,54(2,27)	4,56(2,28)	4,56(2,28)	4,58(2,29)
Spotřeba elektřiny na sycení E_s (kWh)					
Zpracovaný kal $V_{AK/VK}$ (m ³)	3,45	3,54	3,43	3,47	3,47
Odtok kalové vody V_{KV} (m ³)	2,67	2,64	2,5	2,53	2,5
Produkce zahuštěného kalu V_{ZK} (m ³)	0,78	0,95	0,93	0,94	0,97
Spotřeba recyklu V_R (m ³)	7,73	7,74	7,74	7,73	7,74
Poznámky	A/S =0,028 f=0,794 V Prostoru A3, B3 pohyb vločky kalu.Vyložení vrstvy kalu na hladinu.				

Tabulka 4 Provozní deník – s 12 mm tryskou

4.4. Vyhodnocení z tabulek:

Na flotační jednotku byla nainstalovaná 12 mm tryska, na které se prováděl experiment. Z provozního deníku se vyčetlo % sušiny zahuštěného kalu, spotřeby elektrické energie na flotaci a účinnost sycení. Vyšší účinnost flotace byla s flokulantem než bez flokulantu.

První tryska s fakulantem měla sušinu zahuštěného kalu 3,5 %, spotřebu elektrické energie pro flotaci okolo 10 kWh a spotřeba elektrické energie pro sycení se pohybovala okolo 4 kWh.

U nové trysky po přidání flokulantu zřejmě došlo k zanášení sondy NL, které bylo řešeno přidáním většího průtoku (VK) aby bylo omezení NL. Následující 2 hodinový režim byl nevyhovující z důvodu rychlého nárůstu kalu v prostoru A2. Sušina zahuštěného kalu se pohybovala u flotace bez flokulantu okolo 3,12 % a s fakulantem okolo 3,33%. Větší spotřeba elektrické energie a sycení byla u flotace bez flokulantu, protože byly nastavené delší režimy.

Dále následovalo 10 ti hodinové měření, které mělo průměrnou sušinu zahuštěného kalu okolo 3 %. Spotřeba elektrické energie pro flotaci byla cca 4,5 kWh a spotřeba elektrické energie na sycení cca 2,28 kWh. V prostoru A3 a B3 nastal pohyb vloček kalu a bylo nuceno vyčistit nádrž flotační jednotky.

5. Závěr

Bakalářská práce se zabývala problematikou terciárního čištění odpadní vody se zaměřením na snížení koncentrace fosforu srážením a následným odstraněním vznikající sraženiny flotací. Hlavním cílem bakalářské práce bylo ověřit, zda je tato technologie vhodně naprojektována. Jedná se o technologii, která v ČR instalována od r. 2011.

Koagulace a flotace jsou složité fyzikálně-chemické procesy, které je vždy lepší nejlépe poloprovozně odzkoušet. Z naměřených údajů vyplývá, že navržená technologie plní svůj účel. Koncentrace sušiny vstupního kalu se pohybuje v rozsahu 2 - 10 kg/m³

Reálné hodnoty na ČOV Hranice se pohybují u aktivovaného kalu okolo 4,0 kg/m³ a u vratného kalu okolo 8,5 kg/m³. Uvedené rozsahy jednotlivých parametrů nepředstavují optimální provozní hodnoty, slouží především pro návrh jednotlivých strojů a zařízení tak, aby při zkušebním provozu bylo možno v maximální míře prověřit jednotlivé provozní režimy. Navržené hodnoty jsou v průběhu projektu zpřesňovány. Optimální pro lepší flotaci zahuštěného kalu je, aby byla nízká hustota. Negativní vliv na kalovou vodu má vyšší množství rozpuštěných látek (RL) a teplota. Díky této technologii získáme vyšší hodnotu sušiny zahuštěného kalu. Předpokládaná praktická aplikace technologie v letech 2014 – 2015.

6. Seznam použité literatury

- [1] Hubáčková J., Erben V. Využití flotace při procesu úpravy vody, 1. vyd. Výzkumný ústav vodohospodářský ve Státním zemědělském nakladatelství v Praze, 1989, 120s
- [2] Kolektiv autorů Flotace v technologickém průmyslu a vodním hospodářství, 1.vyd. Dům techniky ČSVTS Ostrava, 1983, 172s
- [3] Čížek P., Herel F., Koníček Z. Stokování a čištění odpadních vod, 1. vyd. Praha: SNTL, 1970, 183 s
- [4] Flotation technology. New York: Humana, c2010, xxi, 680 s. Handbook of environmental engineering. ISBN 978-1-58829-494-4.
- [5] Tichánek, F.: Možnosti aplikace pěnové separace při úpravě surovin. Acta Montanistica Slovaca Ročník 10 (2005), mimoriadne číslo 1, 33-38
- [6] Water treatment handbook (WTH). 1991. 6th ed. Degrémont, Francie. ISBN: 2-9503984-1-3. 2- 950984-1-3
- [7] Strnadel P. Poloprovozní mobilní flotační jednotka KUNST-iFLOT. 2013, 8, 263 – 264. [cit. 2014-3-29]. Dostupné z: www.vodnihospodarstvi.cz
- [8] Informační systém výzkumu, experimentální vývoje inovací [cit. 2014-4-1]. Dostupné z: <http://www.isvav.cz/resultDetail.do;jsessionid=4B4F2071F3092B04C28D2BAB24350AB3?rowId=RIV%2F00216305%3A26210%2F11%3APR26006!RIV12-MPO-26210>
- [9] Vodovody a kanalizace Přerov [cit. 2014-4-1]. Dostupné z: <http://www.vakprerov.cz/odpadni-vody.html>
- [10] Ministerstvo zemědělství 2013 [cit. 2014-4-1]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/100053094.html>
- [11] Způsoby likvidace odpadních vod. In:[online]. [cit. 2014-3-29]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/uchop/velebudice/voda/COV/zpusoby_likvidace_odpad_vod_vse.pdf

- [12] Technologie zpracování a využití kalů z ČOV, Helena Raclavská, Ostrava 2007, ISBN 78-80-248-1600-5
- [13] ČR. Směrnice rady 91/271/EHS: o čištění městských odpadních vod.
In:[online].[cit.2014-4-1]. 1991. Dostupné z :
[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/smernice_odpadni_vody/\\$FILE/OOV-91_271_EHS-19910530.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/smernice_odpadni_vody/$FILE/OOV-91_271_EHS-19910530.pdf)
- [14] Michal Dohányos, Jan Koller, Nina Strnadelová: Čištění odpadních vod, VŠCHT Praha, 1995, ISBN 80-7080-207
- [15] Petr Hlavínek, Jan Mičík, Petr Prax: Stokování a čištění odpadních vod, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno 2003
- [16] PYTL, Vladimír. Příručka provozovatele čistírny odpadních vod. 2. vyd. Líbeznice:Medim pro SOVAK ČR, c2012, x, 209 s. ISBN 978-80-87140-26-0.
- [17] Malý Josef, Malá Jitka: Chemie a technologie vody. 1. vyd. Brno, 1996, ISBN 80-86020-13-4
- [18] KUNST, spol. s.r.o., Hranice [cit. 2014-3-30]. Dostupné z:http://www.kunst.cz/media/dokumenty/cz/stavby/cov_hranice.pdf
- [19] Úprava a čištění vody. VŠB TU Ostrava, 2010, [cit. 2014-3-30]. Dostupné z:http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/bio.html
- [20] Provozní řád ČOV Hranice na Moravě
- [21] Hlavínek, P., Novotný, D.: Intenzifikace čistíren odpadních vod. Praha, Noel 2000, 1996, 235 s.
- [22] ENVI-PUR, s.r.o. Čistírny odpadních vod a úpravy[cit. 2014-4-24]. Dostupné z:<http://www.envi-pur.cz/cz/kompaktni-cistirny-odpadnich-vod/>

7. Seznam obrázků

Obrázek 1 - Hydrofóbní a hydrofilní částic	3
Obrázek 2 Schéma navrhované flotační jednotky (KUNST Hranice).....	8
Obrázek 3 Schéma flotační jednotky s předřazenou koagulací (KUNST Hranice)	9
Obrázek 4 Kontejner flotační jednotky (KUNST Hranice)	10
Obrázek 5 flotační jednotka při provozu (KUNST Hranice).....	10
Obrázek 6 Technologické schéma ČOV Hranice (KUNST Hranice)	16
Obrázek 7 Schéma ČOV Biologického čištění.....	18
Obrázek 8 Vizuální popis flotační jednotky (autor)	22

8. Seznam tabulek

Tabulka 1 Výsledky čištění odpadních vod ČOV Hranice [9]	12
Tabulka 2 Provozní deník	25
Tabulka 3 Provozní deník	26
Tabulka 4 Provozní deník	27